

DISEÑO DE CIRCUITO ELÉCTRICO PARA MEJORA DEL PROCESO DE  
TRANSPORTE EN UNA PLANTA DE HIDRÓLISIS DE PLUMAS DE POLLO

ARIEL MAURICIO PELAEZ CORREA  
CÓDIGO: 1 088 271 079

JEISON RAÚL NIEVES GOMEZ  
CÓDIGO: 1 113 312 230

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA POR CICLOS PROPEDÉUTICOS  
PEREIRA  
2020

DISEÑO DE CIRCUITO ELÉCTRICO PARA MEJORA DEL PROCESO DE  
TRANSPORTE EN UNA PLANTA DE HIDRÓLISIS DE PLUMAS DE POLLO

ARIEL MAURICIO PELAEZ CORREA  
CÓDIGO: 1 088 271 079

JEISON RAÚL NIEVES GOMEZ  
CÓDIGO: 1 113 312 230

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
MECATRÓNICA

DIRECTOR

M.Sc. HENRY WILLIAM PEÑUELA MENESES.  
MAGÍSTER EN INSTRUMENTACIÓN FÍSICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA POR CICLOS PROPEDÉUTICOS  
PEREIRA  
2020

## CONTENIDO

RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
JUSTIFICACIÓN .....	9
1. HIDROLIZADO DE PLUMAS DE POLLO .....	10
1.1. Historia.....	10
1.2. Hidrolizado de plumas con sistema batch por lotes .....	11
1.2.1. Hidrólisis.....	11
1.2.2. Plumass de pollo .....	12
1.2.3. Queratina:.....	12
1.3. Descripción de la falla.....	14
2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA .....	16
2.1. Motor trifásico .....	16
2.2. Caja reductora .....	17
2.3. Motorreductor .....	17
2.4. Tolva .....	18
2.5. Transportador sinfín.....	19
2.6. Digestor o cooker Batch.....	20
2.7. Tamiz industrial.....	21
3. PLANTEAMIENTO DE LA MEJORA.....	23
3.1. Requerimientos del diseño .....	24
3.2. Diseño del circuito eléctrico .....	25
3.2.1. Sensor .....	25
Encoder.....	25
Detección incremental .....	26
Detección absoluta .....	26
Encoder Rotativo Capacitivo .....	27
Encoder Rotativo Inductivo .....	27
Encoder Rotativo Óptico .....	28
3.2.2. Procesador de señales .....	30
3.2.3. Circuitos eléctricos .....	32

3.3. Diseño en software .....	40
3.3.1. Lectura y procesamiento .....	41
3.3.2. Comparación de lectura .....	41
3.3.3. Seguimiento y monitoreo del atasco .....	41
3.4. Diseño mecánico .....	42
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	44
4.1. Presupuesto .....	45
CONCLUSIONES .....	46
RECOMENDACIONES .....	47
BIBLIOGRAFÍA .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor trifásico.....	16
Figura 2. Caja reductora.....	17
Figura 3. Motorreductor.....	18
Figura 4. Tolda.....	18
Figura 5. Transportador sinfín.....	19
Figura 6. Digestor o cooker batch.....	20
Figura 7. Tamizador industrial.....	21
Figura 8. Planta de hidrólisis por lotes.....	22
Figura 9. Esquema general de la solución.....	25
Figura 10. Encoder rotativo capacitivo.....	27
Figura 11. Sensor rotativo inductivo.....	27
Figura 12. Encoder óptico de tipo incremental.....	28
Figura 13. Generador de pulsos encoder incremental. marca Autonics.....	30
Figura 14. Salida de cuadratura.....	31
Figura 15. Arduino genuino UNO.....	32
Figura 16. Circuito de adquisición y procesamiento de señales.....	33
Figura 17. Circuito eléctrico tornillo 1.....	34
Figura 18. Circuito eléctrico tornillo 2.....	36
Figura 19. Circuito eléctrico tamiz.....	37
Figura 20. Algoritmo en DFD de la lectura y procesamiento de las señales.....	40
Figura 21. Carcasa circuito electrónico.....	42
Figura 22. Planta de hidrólisis modelada.....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tags circuitos eléctricos.....	37
Tabla 2. Presupuesto.....	45

## **RESUMEN**

Se diseña un sistema eléctrico enfocado en la detección y corrección de atascos durante el proceso de transporte de plumas de pollo en una planta de hidrólisis por lote con el fin de disminuir los tiempos de mantenimiento por atascos permitiendo el mejoramiento de la calidad del producto final, una reducción de costos de mantenimiento, mayor tiempo de disponibilidad de la planta y una posible disminución de tiempo de producción, para lo cual, se examinó la naturaleza del material a transportar y las variables que pueden ser las causantes de las fallas del sistema de transporte-dosificación, tales como la humedad y características estructurales de las plumas de pollo, sistemas de protección del motor que transfiere el movimiento, tiempos de parada de línea por espera el proceso, entre otros y con base en ello, se procede a seleccionar los elementos necesarios para el diseño del circuito eléctrico de tal manera que brinde una asistencia eficiente y rápida al momento de detectarse un atasco, donde se tiene a disposición el control de diferentes acciones para solucionar el problema y también se ofrece alarmas sonoras y visuales para dar a conocer el estado del proceso y la ejecución de las acciones controladas por el circuito; por lo tanto y sujeto a estrictos parámetros de funcionalidad y operación, se diseña un circuito eléctrico de detección y corrección de atascos, como un sistema mecatrónico con las herramientas necesarias para ofrecer al operario la pertinencia, eficacia y seguridad para actuar, al momento de ocurrir eventos de fallas por atascos.

## INTRODUCCIÓN

Como candidatos a profesionales en el campo de la ingeniería, un aspecto muy importante a tener en cuenta es la puesta del conocimiento al servicio de la humanidad, logrando así derribar fronteras que se pueden presentar a causa de diversos factores y que a su vez impiden el desarrollo en cuanto a bienestar, seguridad y progreso, como en este caso es la necesidad de optimizar la etapa de transporte en las plantas de hidrolizado por lote y disminuir la probabilidad de riesgo por accidente laboral en la intervención del mismo; este pensamiento fue el principal combustible para lograr concebir una idea que se enfoque en la integridad de las personas y la optimización de una línea de producción en donde se transporte y dosifique la materia prima mediante un sinfín y que este material tenga las condiciones estructurales y de humedad para que se generen cúmulos con la suficiente solidez para provocar un atasco en el proceso, por lo tanto, y bajo el deseo de poner en marcha el conocimiento y de hacer tecnología, se ha optado por diseñar un circuito eléctrico para la mejora del proceso de transporte, apto para facilitar la identificación de un atasco y para ofrecer al operario las herramientas necesarias para actuar con seguridad y pertinencia. Para lo cual se examina el funcionamiento de la planta y se identifican los elementos electromecánicos con el fin de entender las condiciones que se plantean en donde se examinan los fallos que se presentan durante todas las etapas del proceso, de tal manera que se generen ideas enfocadas, justificadas y con mayor probabilidad de éxito a la hora de implementarlas. Siguiendo con estos lineamientos y bajo un enfoque mecatrónico, se diseña un sistema eléctrico que permita dar asistencia a los eventos de los fallos identificados con anterioridad y con ayuda de herramientas de diseño asistido se modela la planta en cuestión para obtener una visión más amplia a la hora de definir los puntos de instalación y otras características dimensionales que se deben tener en cuenta a la hora de implementar este proyecto.



## JUSTIFICACIÓN

La importancia del mejoramiento de la etapa de transporte en las plantas de hidrolizado por lote en donde se tiene como materia prima las plumas de pollo está basada en la disminución de los tiempos de mantenimiento por atascos, permitiendo el mejoramiento de la calidad del producto final, una reducción de costos de mantenimiento, mayor tiempo de disponibilidad de la planta y una posible disminución del tiempo de producción y del riesgo laboral al momento de intervenir al ocurrir un atasco.

Mencionado esto surge otro factor que sustenta la importancia del proyecto, y es el beneficio para el desarrollo del sector industrial dedicado a la extracción de estas proteínas que le permitiría así ir a la par del crecimiento de la producción avícola en el país en aras de ampliar la capacidad de cumplir no sólo con estándares ambientales para lidiar con los residuos o plumas de desecho generados, sino también de obtener enzimas y queratinasas para la elaboración de productos con mayores estándares de calidad e incrementar la capacidad de una empresa para competir comercialmente .

Es importante aclarar que el diseñar un sistema con las exigencias descritas es un paso que se hace necesario para evitar gastos extras que se sumarían si se trabaja netamente a prueba y error, ya que en un diseño se definen parámetros que se deben cumplir, se realizan simulaciones para verificar la funcionalidad, se prueban y combinan diferentes técnicas para mejorar el sistema y se le da mayor seguridad de operatividad al prototipo que se construya siguiendo los lineamientos planteados.

## 1. HIDROLIZADO DE PLUMAS DE POLLO

### 1.1. Historia

Desde tiempos ancestrales el ser humano ha dependido de la cría de animales para su supervivencia, de esta actividad parten la ganadería, avicultura, apicultura, piscicultura entre otras actividades que garantizaron el bienestar de familias y comunidades a través de las generaciones.

Con la llegada de los conquistadores en el siglo XVI se introdujeron las primeras especies de gallinas a Colombia, quienes las intercambiaban frecuentemente por metales preciosos, práctica que daba origen a la cría de aves domésticas por los nativos y parte integral para su sustento.

A principios del siglo XIX, durante la industrialización y el crecimiento de las ciudades fue necesario encontrar métodos de crianza efectivos; la industria avícola de carne tiene casi un siglo de historia y empezó con pocas gallinas criadas y cuidadas por familias en los patios residenciales y las fincas. La primera granja con estas aves fue de la señora Wilmer Steele, de Delaware, EE. UU., conocida como pionera por producir 500 pollos de carne juntos en 1923.<sup>1</sup>[En línea].

En Colombia la avicultura ha tenido un continuo crecimiento en los últimos cincuenta años al pasar de producir 30 mil toneladas de carne de pollo en 1961 a un poco más de un millón en 2012.<sup>2</sup>[En línea]. Todo el crecimiento en el sector infirió una gran cantidad de desechos por el desprese de los pollos; la industria genera distintos tipos de desechos tales como sangre, huesos, piel, vísceras y plumas, estas últimas representan aproximadamente el 8% del peso vivo del ave de corral.<sup>3</sup> [En línea]. Los residuos eran foco de un problema ambiental por la desmesurada cantidad de plumas crecientes por año.

---

<sup>1</sup> BMEditores, Industria avícola tradicional vs. la era moderna de avicultura. [En línea], consulta [05 febrero 2020], disponible en: <https://bmeditores.mx/avicultura/industria-avicola-tradicional-vs-la-era-moderna-de-avicultura/>

<sup>2</sup> María Aguilera Díaz, Determinantes del desarrollo en la avicultura en Colombia: instituciones, organizaciones y tecnología. [En línea], consulta [Diciembre 2014], disponible en: [https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/dtser\\_214.pdf](https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_214.pdf).

<sup>3</sup> Revista Politécnica [En línea]. Universidad Libre de Colombia, [ 19 julio 2019]. Semestral. Disponible en Internet: <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1552/1351>. ISSN: 2256-5353

En Colombia el pollo de engorde ascendió en el 2017 a 774 millones de aves lo cual constituye un sector económico agropecuario importante a la par de la ganadería<sup>4</sup>[En línea].

La cría y procesamiento industrial de pollo ha ocasionado el problema de generación de plumas, subproducto que tiene limitadas opciones de aprovechamiento.<sup>5</sup> [En línea]. La aplicación más común para aprovechar las plumas es la obtención de queratinas a partir de su alto contenido en proteínas (queratina, serina y cisteína), las cuales se utilizan en diferentes aplicaciones como en el proceso de obtención de cuero, producción de fertilizantes y nutrientes animales en la industria agrícola, en la industria médica, farmacéutica, textil y elaboración de detergentes.

La fabricación de piensos, elementos farmacológicos entre otros requiere que sus ingredientes cumplan con estándares de calidad a la hora de su elaboración, para eso se debe garantizar un proceso estable que asegure la obtención de queratina a partir de las plumas de pollo como es la hidrólisis por lotes.

En la última década en Colombia las empresas productoras de carne de pollo han empezado a crear líneas de producción para aprovechar los desechos como plumas de pollo basados en la obtención de queratinas para disminuir el impacto ambiental y obtener un incremento en las ganancias.

## **1.2. Hidrolizado de plumas con sistema batch por lotes**

Antes de definir este proceso, es necesario revisar algunos conceptos para su total comprensión:

### **1.2.1. Hidrólisis.**

Se puede definir como una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar

---

<sup>4</sup> Fenavi, Consumo histórico de huevo y pollo en Colombia. [En línea], consulta [09 enero 2018], disponible en: <https://avicultura.info/fenavi-consumo-historico-huevo-pollo-colombia/#:~:text=El%20encasamiento%20de%20pollo%20de,%25%3B%20respecto%20al%20a%C3%B1o%20anterior>

<sup>5</sup> Gina A. Quintero Curvelo, William A. Huertas Díaz, Eduar Ortega David, Procesamiento de plumas de pollo para la obtención de queratina. [En línea], consulta [10 diciembre 2017], disponible en: <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/767/1176>

parte de otro compuesto químico. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente. <sup>6</sup> [En línea].

### 1.2.2. Plumas de pollo

Las plumas son elementos que forman parte de todas las aves, incluido el pollo, en su interior son estructuras queratinosas con un 90% de proteínas en su composición, fundamentales para el vuelo, aunque tener plumas o no, no define la habilidad de un animal para volar. Todas las plumas, en conjunto forman una capa densa y aislante que protege al animal frente al agua y el frío. <sup>7</sup> [En línea].

En la producción avícola estas plumas junto con la sangre, vísceras y en algunos casos las patas y cabezas son considerados como residuos.

### 1.2.3. Queratina:

Según la RAE (2017), la queratina es una proteína rica en azufre que constituye parte fundamental de las capas más externas de los vertebrados y de sus derivados como plumas, pelos, cuernos, uñas, pezuñas, etc., a la que deben su resistencia y su dureza. En las aves, la fuente natural principal de la queratina es la pluma, esta puede ser aprovechada debido a su alto contenido proteico, aunque presenta limitaciones en su estado natural debido a su baja digestibilidad. <sup>8</sup> [En línea].

Ahora se sabe que las plumas de pollo contienen altos niveles de proteína que pueden ser una base de alimentación balanceado para otros animales como mamíferos, aves y peces, sin embargo, en su estado natural no son digestibles, por lo que se hace necesario realizar un proceso para transformarlas en un producto que si lo sea, es por esto que se realiza el hidrolizado y más puntualmente en este proyecto se habla del **“hidrolizado de plumas con sistema continuo por lotes”** donde se somete a procesos térmicos de tal forma que la materia prima es expuesta a presiones y temperaturas elevadas en un

---

<https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/572003>

<sup>6</sup> Morcillo, Jesús (1989). *Temas básicos de química* (2ª edición). Alhambra Universidad. p. 262-264. ISBN 9788420507828. Disponible en : <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/pluma.php>

<sup>7</sup> Cecilia Bembibre (marzo. 2013). Definición ABC. Disponible en: <https://dle.rae.es/queratina>

<sup>8</sup> Real academia española. Reddy & Santosh, 2016. (En línea). Disponible en: <https://dle.rae.es/queratina>

medio húmedo a los efectos de romper la estructura especial de la queratina, de tal modo que como resultado se obtenga una harina digestible con más del 80% de proteínas. La calidad depende del control de las variables presión y temperatura tanto en su magnitud como en el tiempo de exposición de manera que se evite destruir el perfil aminoácido durante el proceso.<sup>9</sup> [En línea].

Como tal, el proceso de hidrolizado consta de varias etapas que van desde la limpieza de las plumas al momento de extraerlas de los pollos hasta el empaquetado:

- A. Enjuague de plumas:** Esta etapa consta del lavado de las plumas con agua caliente u otros productos que aseguren una correcta limpieza y ausencia de restos de sangre; por lo general este proceso lo realiza el proveedor de la materia prima (aunque en algunos casos se opta por realizar otro enjuague en la misma planta a fines de mejorar la calidad del producto), ya que este debe asegurar que las plumas conserven sus propiedades durante el transporte a la planta y también se tiene en cuenta que la extracción de residuos y sangre en las plumas mejora la calidad del producto final.
- B. Pre-secado:** Esta etapa se realiza un secado de aproximadamente 40 minutos para disminuir la humedad de las plumas debido al enjuague que se le dio con anterioridad; este proceso se realiza en algunas plantas y en otras solo hace pasar por un sistema de bombeo para absorber cierta cantidad de humedad.
- C. Hidrolizado:** Este proceso permite cocinar las plumas en un digestor o cooker batch a partir de una presión y temperatura determinada en un tiempo definido para obtener resultados con mayor calidad.
- D. Secado:** Esta etapa permite disminuir aún más la humedad resultante de la etapa anterior, sin embargo, teniendo especial cuidado en no quemar algunos compuestos que en su defecto disminuirían la calidad de la harina.
- E. Molienda y Tamizado:** Este proceso permite moler y tamizar la harina obtenida del último secado en un molino de martillos y en un tamiz

---

<sup>9</sup> YouTube. Ing. Juan Carlos Hominal. FIMACO. 11 de abril del 2013. Hidrolizado de plumas con sistema continuo Fimaco. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=hRKWy10uBWA&t=1s>

vibratorio respectivamente, de esta manera se logra obtener el tamaño de partícula deseado al finalizar todo el proceso; el molino se encargará de triturarla para después hacerla pasar inmediatamente sobre un tamiz vibratorio, este proceso dura aproximadamente 2 horas y 45 minutos, dependiendo también de la cantidad por lote que se defina en la planta.

**F. Empaquetado:** Por último, se realiza un proceso de verificación de calidad para así ser empaquetado.

En general este es un proceso en línea donde el producto debe esperar a ser procesado, etapa por etapa, cronometrando así un aproximado de 6 horas por lote.

### **1.3. Descripción de la falla**

La hidrólisis por lotes consta de varias etapas como lo son la recepción de materia prima, el transporte y dosificación, hidrólisis en un cooker batch, pre-secado, secado, y algunos casos, molienda, tamizado y empackado, y en cada una de estas etapas surgen situaciones que por diferentes variables se hace necesario implementar sistemas de automatización y/o mejoramiento en general (como cualquier proceso industrial en pleno desarrollo que es susceptible de mejoras continuas). Para efectos de este proyecto, se prestará total atención a la etapa de “transporte y dosificación”.

Hay que tener en cuenta que generalmente las plumas provienen de una empresa externa proveedora la cual en su proceso extraen las plumas con agua caliente u otros líquidos y realizan ciertos procesos de limpieza, por ende la materia prima llega con alto porcentaje de humedad y en algunos casos puede llegar en estado de descomposición, además el proceso de fabricación de hidrólisis por lote tiene como condición que en una línea de producción se trabaja con cierta cantidad de lotes que está definido por la cantidad de material que en un momento dado estará disponible para suministrar al sistema y al terminar de procesar esa cantidad de lotes se detiene la producción hasta que vuelva a llegar materia prima, esto significa que se producen “x” cantidad de lotes en serie y si no hay más plumas disponibles, entonces se detiene la línea de producción hasta que exista disponibilidad; también se tiene en cuenta que hay paradas durante la producción de un lote, puesto que al suministrarse un volumen determinado de plumas al cooker batch se detiene el suministro

quedando material “en cola” esperando a ser hidrolizado. Estos factores causan problemas por atascos en el sistema de transporte entre las etapas de producción debido al deterioro de las plumas durante las esperas en el proceso ya sea por cambio de lote o por terminación de producción de serie de lotes, disminuyendo aún más las condiciones óptimas de la materia prima afectando la calidad de la producto final, aumentando la probabilidad de generación de grumos y exponiendo al operario a un riesgo de atascamiento y/o pérdida de miembros del cuerpo al intervenir manualmente por atascamiento del motor en sistemas donde solo se cuenta con la protección del motor y por tanto no están disponibles las herramientas óptimas para realizar la intervención en dicho evento; es precisamente este el asunto que se pretende resolver, definiendo como foco principal el transporte y dosificación de materia prima (plumas de pollo).

Surge entonces la pregunta, ¿Qué sistema mecatrónico se hace necesario diseñar de tal forma que optimice el proceso de transporte y dosificación de materia prima para una planta de hidrólisis de plumas de pollo por lotes?

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

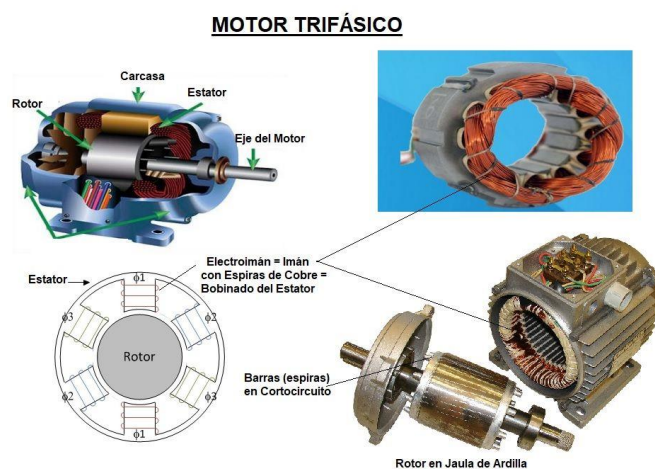
En la planta de hidrolizado están presentes los siguientes elementos.

### 2.1. Motor trifásico

Los motores trifásicos son, por lo general, motores de alta potencia en los que el bobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinados independientes desplazados  $120^\circ$  eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna. <sup>10</sup> [En línea].

El motor trifásico más utilizado es el motor asíncrono trifásico de inducción que funciona gracias a los fenómenos de inducción electromagnética que relacionan la electricidad con el magnetismo como se puede apreciar en la siguiente imagen. (Figura 1).

Figura 1. Motor trifásico.



Fuente. Areatecnologia.com

<sup>10</sup> Revista digital INESEM. Ing. Rogelio Delgado. 12 de feb. Del 2015. Publicación en la web. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/#;~:text=Los%20motores%20trif%C3%A1sicos%20son%20motores,sistema%20trif%C3%A1sico%20de%20corriente%20alterna.>



## 2.2. Caja reductora

Las cajas reductoras o reductores de velocidad son sistemas formados por engranajes que hacen que los motores eléctricos funcionen a distintas velocidades, por lo general disminuyen su velocidad de forma mecánica y apostado seguridad y estabilidad en la transferencia y transformación de tal energía. <sup>11</sup> [En línea]. Los reductores de velocidad son creados a base de engranajes, mecanismos circulares o cerrados con geometrías diferentes según su tamaño y la función en cada motor eléctrico como se hace referencia en la siguiente imagen. Figura 2.

Físicamente, al reducir la velocidad de un eje por medio de la transferencia de movimiento al incluir engranajes se obtiene como valor agregado el aumento proporcional de la potencia.

Figura 2. Caja Reductora.



Fuente: motores.com.pe

## 2.3. Motorreductor

Se puede inferir entonces que un motorreductor es un motor eléctrico acoplado a un sistema reductor que por lo general es una caja reductora. Estos sistemas se encuentran en el comercio en diferentes tamaños, velocidades, potencias y tanto para motores a corriente alterna como continua. Para efectos de este proyecto se hablará de motorreductores trifásicos como se aprecia en la siguiente imagen. Figura 3. de tal manera que las revoluciones que entrega la caja en su eje es menor a las que transfiere el eje del motor a la misma, esto es

---

<sup>11</sup> Tercesa S.L. Sertec Transmisiones. Qué es un motorreductor. @paradecreativa. Octubre 28 del 2016. Disponible en la web. <https://tercesa.com/noticias/que-es-un-motorreductor/>

cierto si el diámetro del engranaje acoplado al eje del motor es menor al que se encuentra en el eje que entrega el movimiento de la caja reductora en cuestión.

Esta disposición de elementos electromecánicos es imprescindible a la hora de requerir un cambio de velocidad y/o potencia para efectos de los requerimientos de un sistema.

Figura 3. Motorreductor.



Fuente: [multimaks.com.ar](http://multimaks.com.ar)

## 2.4. Tolva

Dispositivo estructural que por lo general es de gran tamaño utilizado para el procesamiento de materiales del sector industrial. Se emplea en la canalización y depósito de materiales, los hay de distintas formas y estructuras, una de ellas se puede apreciar en la siguiente imagen (Figura 4) dependiendo del uso principal al que esté destinado.

Figura 4. Tolva.



Fuente: [mafitelsac.com](http://mafitelsac.com)

Habitualmente se fabrica con diseño de cono invertido con una apertura en la zona inferior para la salida del material simulando el estilo de un embudo. De esta forma tiene la capacidad de almacenar, moler, triturar, disolver o incluso clasificar materiales según el tipo de tolva de la que se trate, además, dependiendo de su uso final variará su modelo. Las más frecuente son las tolvas de flujo másico (tolvas cónicas, biseladas, de transición, piramidal, de apertura cuadrada o chaflanada) o las tolvas de flujo tubular (piramidal, cilíndricas o cónica). Respecto al material con el que se fabrican a menudo se utilizan piezas elaboradas con acero al carbono, acero inoxidable, aceros antidesgaste u otros materiales antiadherentes.<sup>12</sup> [En línea].

## 2.5. Transportador sinfín

Máquina de transporte continuo con el órgano de tracción rígido que se emplean para la manipulación de residuos orgánicos en el tratamiento de aguas, transporte de sólidos en infinidad de industrias teniendo aplicaciones de toda índole, (ver figura 5), en otras palabras, este dispositivo está diseñado para el transporte de material mediante una espiral basado en el principio de Arquímedes teniendo la posibilidad de trabajar en diferentes ángulos desde la horizontal hasta la vertical.<sup>13</sup> (Oriol Guerra, José M.)

Figura 5. Transportador Sinfín.



Fuente: ingemecanica.com

---

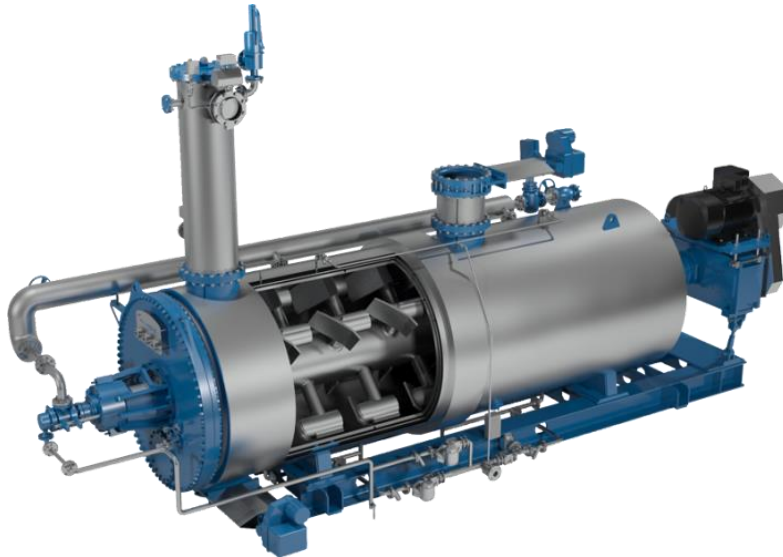
<sup>12</sup> Oriol Guerra, José M. "Máquinas de transporte continuo" Tomo I, (Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1988.

<sup>13</sup> Maquinaria e industria. Adrián Rodríguez Núñez. ¿Qué son las tolvas industriales?. 10 octubre, 2017. En la web: <https://maquinariaeindustria.es/que-son-las-tolvas-industriales/#:~:text=Entendemos%20por%20tolva%20como%20aquel,principal%20al%20que%20est%C3%A9%20destinado.>

## 2.6. Digestor o cooker batch

El cooker batch o digestor es un dispositivo electromecánico diseñado para esterilizar, hidrolizar y secar subproductos animales u otros con características similares, en otras palabras, es un intercambiador de calor; tal dispositivo es una unidad incluye una serie de válvulas e instrumentos que hacen posible la implementación de un sistema purgador de vapor, válvulas de seguridad, aislamientos requeridos en los procesos para los que fue diseñado como lo es un depósito (ver figura 6) o “carcaza” que asegura un intercambio de calor eficiente, sin embargo, siendo este un sistema termodinámico abierto ya que permite que entre un flujo de aire caliente al depósito y por medio de las válvulas lo expulsa del sistema cuando ya ha hecho su trabajo. <sup>14</sup>[En línea].

Figura 6. Digestor o cooker batch.



Fuente: es.haarslev.com

---

<sup>14</sup> Cocinador, cooker o digestores en la industria del rendering. ¿Qué son? Ing. Alejandro karcz. 25/06/2019. Publicado en la web. <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/cocinador-cooker-digestores-industria-t43852.htm>

## 2.7. Tamiz industrial

Como tal, un tamiz es un dispositivo utilizado para separar elementos finos de gruesos (sólidos conformados por partículas de diferente tamaño), generalmente se utiliza una malla (metálica o de algún polímero) o superficie perforada en donde se deposita el material, posteriormente se agita en un tamizador industrial, (se utiliza un motor para agitar la superficie perforada) para que los elementos más gruesos de paso a los finos y estos pasen la malla por acción de gravedad (ver figura 7) y por supuesto, por la capacidad de sus pequeñas dimensiones, quedando atrapado todo sólido que no sea permitido pasar por los orificios de la superficie que los contiene.<sup>15</sup>[En línea].

Figura 7. Tamizador industrial.



Fuente: Amazon.com

A rasgos generales, son estos 7 elementos o dispositivos los que se ven involucrados en el evento de un atasco y los cuales son los principales actores en el dinamismo de las etapas del proceso de hidrolizado.

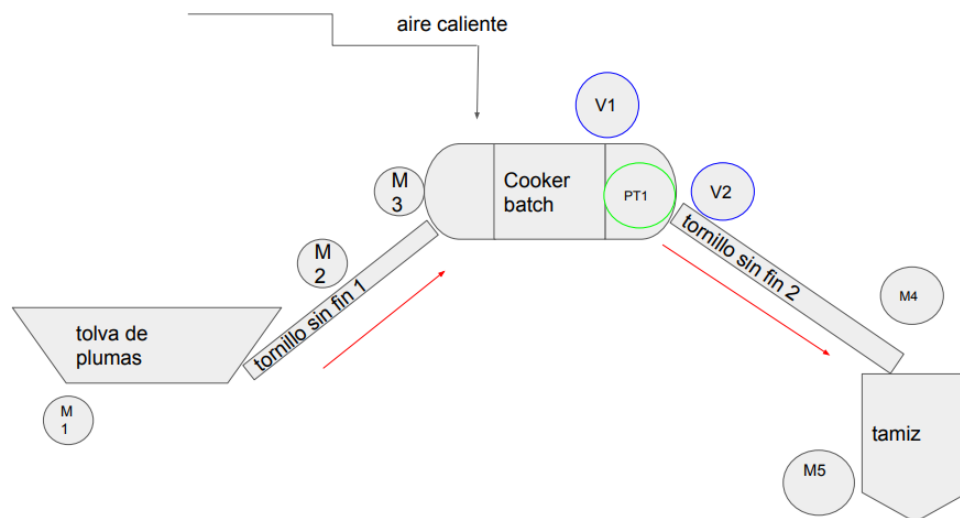
Como se aprecia en la siguiente ilustración (figura 8), la tolva inicia el proceso al recibir las plumas de pollo, en este caso se dispone de un transportador sinfín justo debajo de esta, de tal manera que suministra al sistema de transporte

---

<sup>15</sup> Labopoliz.com. Tamizado Industrial. Ing. Marco Noguera V. 16 de mayo, 2014. Blog. disponible en: <http://tamizadoperacionesunitarias.blogspot.com/2014/05/definicion.html>

(segundo tornillo sinfín) para que este dosifique continuamente la cantidad de materia prima que sus dimensiones y velocidad lo permitan, siendo estas dos variables un tema de diseño y adecuación de las medidas de construcción del sinfín y de la selección y control de los motorreductores encargados de transmitir la potencia al sistema, así pues que este proceso de recepción, transporte y dosificación den inicio a la etapa de hidrólisis cuando se haya suministrado al cooker batch la cantidad de plumas que se definan como un (1) lote, abastecida tal cantidad de plumas al digestor se cierra la compuerta de recepción, se detienen los motores que hacen girar al sinfín y se inicia el proceso de intercambio de calor o cocción de las plumas en donde controlan las magnitudes de presión y temperatura, se cronometra un tiempo determinado para tal proceso y se revuelven las plumas por medio de unas aspas. Terminada la cocción se transporta la harina resultante por medio de otro tornillo sinfín hacia el tamiz que se encarga de separar las partículas más finas de las gruesas, de tal manera que se obtenga un producto con características de humedad, tamaño y calidad alta para así ser empacado y distribuido.

Figura 8. Planta de Hidrólisis por lotes.



Fuente: Autores

### 3. PLANTEAMIENTO DE LA MEJORA

Los atascos en este sistema se dan por diferentes causas donde se puede hablar de las características y condiciones físicas en las que se encuentran las plumas al momento de transitar a lo largo del tornillo sinfín; se sabe entonces que las plumas de pollo deben ser lavadas y desinfectadas antes de ser vertidas a la tolva, lo que le confiere gran humedad y aunque se realice un proceso de pre-secado y bombeo, estas seguirán estando húmedas, de tal manera que es un factor importante a la hora de definir las causas de estos atascos. Ya se ha dicho que este proceso se realiza por lotes y que se provee una cantidad limitada de materia prima (en secuencia) de tal forma que la planta procesa la cantidad de lotes en línea hasta que se terminen. Para entender este factor con más detalle se toman el siguiente ejemplo:

El día lunes se reciben 360 Kg de plumas que inmediatamente se empiezan a ingresar a la tolva, teniendo que cuenta que para producir un(1) lote de harina se requieren 70 Kg de plumas de pollo, al detectarse el cumplimiento de esta primer condición, se cierra la compuerta del cooker batch, se inicia el proceso de cocción y se detiene el motor del sinfín, por lo que los X Kg que quedaron a lo largo del sinfín quedan en espera por el tiempo requerido para la terminación de este proceso, que habitualmente está entre 1 y 2 horas, de nuevo, debido a las condiciones de humedad del material, este se puede sedimentar o deteriorar mientras se encuentra ahí, lo que aumenta la probabilidad de un atasco. Siguiendo con el proceso de producir del siguiente lote hasta que se termine la materia prima, de esta manera se pueden producir 5 lotes (en función de la cantidad disponible) y quedando así 10 Kg de plumas de pollo esperando a tener disponibilidad de por lo menos 60 Kg para empezar a ser ingresadas al digestor, hasta entonces deben esperar y regularmente cierta cantidad de este sobrante (si no es su totalidad) se queda dispersada a lo largo del sistema de transporte; tal espera es por lo general de algunos días, así que si este material puede generar atascos al estar reposado y expuesto a la degradación por solo una o dos horas, durante el proceso secuencial de producción, los efectos de esperar varias días son mayores, ya sea para la generación de atascos como para la calidad del producto.

Así pues que en estas plantas se producen atascos frecuentemente, lo que implica la intervención inmediata en el proceso por lo que se debe detener y apagar los motores de los transportadores sinfín y realizar una limpieza manual en donde se haya producido la sedimentación o acumulación excesiva de plumas de pollo, disminuyendo así la calidad del producto final, el rendimiento en función

del tiempo y por tanto el aumento de los costos de producción y mantenimiento de las máquinas involucradas, aquí se aclara que cuando ocurre este evento, el transportador sinfín disminuye su rapidez de giro progresivamente ya que en ese momento las plumas de pollo se empiezan a acumular, exigiendo al motor, mayor potencia, hasta que se dispare el sistema de protección y se apague el motor.

Es necesario aclarar que existen varias causas de fallos de motores, entre las más comunes son la ruptura del aislamiento del bobinado y el desgaste de los rodamientos, aunque también hay casos donde se pueden generar paradas por sobre corrientes o sobre tensiones, sin embargo, estas causas se van a ignorar para efectos de este proyecto ya que para ello se le realiza el correcto mantenimiento preventivo a los motores y estos cuentan con los dispositivos de protección básicos y necesarios según los requerimientos de la norma vigente.

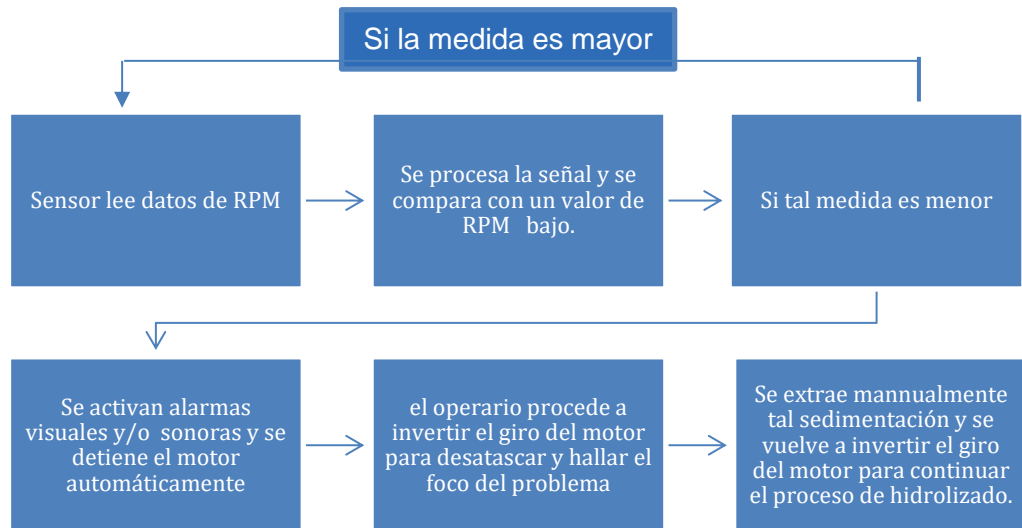
### **3.1. Requerimientos del diseño**

Planteado con rigurosidad el problema a solucionar, se propone diseñar un circuito eléctrico que permita reaccionar de manera pertinente y segura a un evento de atasco por causa de la sedimentación o acumulación excesiva de plumas de pollo en el sistema de transporte; sabiendo que este evento se caracteriza por reducir las revoluciones del motor de forma progresiva al tiempo que se va generando la acumulación de plumas, se requiere de un sensor que detecte tal disminución en esta variable de tal forma que un procesador de las señales suministradas por el sensor, accione un sistema que notifique al operario que se está produciendo un posible atasco. Seguido a esto, el operario tendrá la posibilidad de detener temporalmente e invertir el giro de los motores para así identificar con mayor facilidad el foco de la sedimentación con el fin de retirarlo manualmente y retomar el proceso de producción, evitando así una parada de emergencia y mejorando el rendimiento de la planta.

Se presenta un esquema general de la solución propuesta con anterioridad el cual se puede apreciar en la siguiente imagen (Figura 9).



Figura 9. Esquema general de la solución.



Fuente: Autores

### 3.2. Diseño del circuito eléctrico

Con base en el esquema general de la solución (Figura 9) se procede a seleccionar, en primera instancia a un sensor que mida las revoluciones de un motor trifásico.

#### 3.2.1. Sensor

Existen diferentes tipos de sensores de revoluciones, sin embargo el más utilizado para motores eléctricos es el llamado “sensor encoder”. En estos sensores existen diferentes clasificaciones según la naturaleza de su funcionamiento, adquisición de datos y construcción física:

##### Encoder

El encoder es un dispositivo electromecánico que codifica el movimiento mecánico en pulsos eléctricos. Existen los encoder lineales y rotatorios y en cada grupo a su vez, trabajan con codificación absoluta e incremental. El encoder lineal, como su nombre lo indica, es utilizado para movimientos lineales respecto

a un eje, básicamente se compone de un módulo fijo y otro móvil (el que se une a las partes móviles de la máquina con la cual se hará la interfaz). El módulo fijo contiene el sensor y la electrónica necesarias para detectar y medir el movimiento y convertirlo en impulsos eléctricos inteligibles por otro circuito digital o analógico y el rotativo es utilizado para medir revoluciones, en estos dispositivos la lectura se realiza sobre un disco, en cuya cara se encuentra la codificación que permite discernir la posición angular. <sup>16</sup>[En línea].

La forma en que el Encoder, siendo lineal o rotatorio, detecta el movimiento, permite establecer la posición en forma relativa o absoluta.

### **Detección incremental**

Permite detectar el movimiento y la distancia recorrida en ese movimiento gracias a la detección diferencial de dos valores codificados en la superficie detectable. La ventaja de este sistema es que es más económico que el encoder absoluto, y que permite mantener la misma precisión independientemente de la longitud de la pieza móvil, sin embargo, para inicializarse, el sistema necesita posicionar al encoder en una posición inicial predeterminada. <sup>16</sup>[En línea]

### **Detección absoluta**

La codificación sobre la superficie de la pieza móvil incluye la posición real desde el punto cero de la escala; de este modo, es posible que el instrumento conozca su posición sin necesidad de moverlo. Esto es algo particularmente útil cuando por algún motivo la máquina a la cual le ofrece interfaz se reinicia. La desventaja es que se requieren más pistas de codificación para incluir la información de posición; algo que a medida que se requiere más longitud con la misma precisión encarece más la electrónica necesaria. <sup>16</sup>[En línea]

Para efectos de este documento, se define el funcionamiento y algunos tipos de encoder rotatorio, ya que, se pretende medir revoluciones de un motor.

---

<sup>16</sup> Demaquinasyherramientas.com. Ing. Nuria. ¿Qué es un Encoder, cuáles son sus tipos y para qué sirven?.22 de junio del 2018. Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/encoder-tipos>

## Encoder rotativo capacitivo

Este sensor mide la capacitancia entre la escala y el cabezal lector. Debido a que la lectura se realiza sin contacto físico, se utiliza principalmente en aplicaciones de medición como calibres y diales, (ver figura 10). Su desventaja es que es susceptible a la presencia de suciedad en el cabezal lector o en la escala por lo que debe procurarse su cierre hermético para una operación sin errores. <sup>16</sup>[En línea]

Figura 10. Encoder rotativo capacitivo.



Fuente: demaquinasyherramientas.com

## Encoder rotativo inductivo

Este sensor es perfecto para ambientes en donde es imposible aislar el instrumento de contaminantes tales como líquidos refrigerantes o partículas, es por esto por lo que se considera el más robusto de esta clasificación de encoders; estos sensores se pueden ver sucios y en condiciones no óptimas y aun así, funcionar a la perfección como se aprecia en la siguiente imagen (Figura 11) sin embargo, su precisión es menor comparada a la de los demás.

Figura 11. Sensor rotativo inductivo.



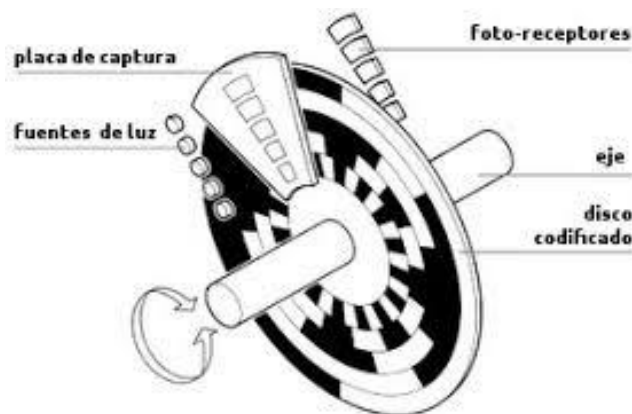
Fuente: celeramotion.com

## Encoder rotativo óptico

Es un captador angular de posición. Su eje unido mecánicamente a un árbol que lo acciona hace girar a un disco que consta de una serie de zonas opacas y transparentes. La luz emitida por los diodos electroluminiscentes alcanza a los fotodiodos cada vez que atraviesan una zona transparente del disco. Los fotodiodos generan una señal eléctrica que se amplifica y convierte en señal cuadrada antes de transmitirse a la señal de tratamiento.<sup>17</sup>[En línea].

En otras palabras, consta de un sistema óptico (fuente de luz y foto receptores) que atraviesa los orificios hechos alrededor del perímetro interno de un disco (rejilla) que se encuentra por lo general acoplado al eje de rotación, lo que genera una serie de interrupciones de la luz emitida que genera los pulsos, ahora bien, la cantidad de orificios en el disco está relacionado directamente con la cantidad de pulsos por vuelta que es una característica importante a la hora de seleccionar el encoder óptimo para cierta aplicación, debido a que este valor de PPR (pulsos por revolución) es una medida directa de la resolución o precisión de medida angular que el dispositivo puede medir. En la siguiente imagen se puede observar de manera gráfica el funcionamiento de este sensor. (ver figura 12).

Figura 12. Encoder óptico de tipo incremental.



Fuente: Ingmecafeix.com

<sup>17</sup>Automatizmoindustrial.com. FORMACIÓN PARA LA INDUSTRIA 4.0. Codificadores ópticos Rotativos. José Ramón Vaello Sancho. <https://automatizmoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-4-adquisicion-de-datos/codificadores-opticos-rotativos/#:~:text=Un%20codificador%20C3%B3ptico%20rotativo%2C%20es,de%20zonas%20opacas%20y%20transparentes.>

Ya se sabe entonces que el sensor seleccionado para este proyecto es un encoder de tipo Rotativo, debido a las exigencias del sistema al que se le quiere medir las revoluciones, por otro lado se considera que el sensor óptico frente al inductivo tiene mayores ventajas debido a la facilidad con la que podría instalarse en el motor, además de que este genera electromagnetismo y podría ocasionar problemas de lectura para el sensor capacitivo o inductivo.

Ahora bien, dadas las características de funcionamiento de la planta de hidrólisis, el motorreductor que trasmite el movimiento al transportador sinfín gira a una rapidez máxima de 100 rpm, dato importante para la selección del encoder, debido a que es importante saber la frecuencia máxima de operación del sistema y para esto se desarrolla las siguientes operaciones:

$$100 \text{ rpm} = 100 (n)/(\text{min}) * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1,6\hat{6} \frac{n}{s} = 1,67 \text{ Hz} \quad (1)$$

Donde, n = Número de vueltas

También es importante aclarar que el dato de PPR para esa aplicación es importante solo para determinar en cuantos pulsos se completa una vuelta, sin embargo, no se requiere de un dato específico debido a que no se necesita la posición angular.

Con estos datos en consideración se determina que el encoder óptico rotativo de tipo incremental con referencia ENA602T24 (Ver figura 13), es una excelente opción. Los datos del fabricante según su hoja de datos<sup>18</sup>, se muestran a continuación:

**Referencia:** ENA602T24

**Pulsos por revolución:** 60 PPR

**Salida / Fases:** Totem Pole / A, B

**Máxima revoluciones:** 5000 RPM

**Alimentación:** 12 – 24 VDC

**Frecuencia:** 180 KHz

---

<sup>18</sup>Hoja de datos Generador de pulsos Encoder incremental. Autonics. Disponible en: [https://www.viaindustrial.com/catalogos\\_pdf/generadores-de-pulsos-encoders-incremental-eje-diametro-10-mm-ena602t24-autonics-catalogo-ingles.pdf](https://www.viaindustrial.com/catalogos_pdf/generadores-de-pulsos-encoders-incremental-eje-diametro-10-mm-ena602t24-autonics-catalogo-ingles.pdf)

**Protección: IP50**

Hay que hacer aclaración que la salida tipo Totem Pole es una salida digital de tipo compuerta con tecnología TTL, lo que lo hace perfecto si se quiere utilizar un microcontrolador o similares para el procesamiento de las señales.

Figura 13. Generador de pulsos encoder incremental. Marca Autonics.



Fuente: viaindustrial.com

### **3.2.2. Procesador de señales**

Partiendo de la selección del sensor encoder rotativo óptico de tipo incremental, se debe consultar las características de las señales que este dispositivo ofrece con el fin de determinar el sistema procesador que se utilizará.

La codificación Incremental provee un número específico de pulsos equitativamente espaciados por revolución (PPR), donde se utiliza un solo canal de salida para aplicaciones donde el sentido de la dirección de movimiento es unidireccional. Para un movimiento bidireccional, se utiliza la salida de cuadratura con dos canales de 90 grados eléctricos fuera de la fase (Ver figura 14); el circuito determina la dirección de movimiento basado en la fase de relación entre ellos. Esto es útil para procesos que se pueden revertir o para mantener la posición de red cuando se encuentra inmóvil u oscilando mecánicamente. <sup>19</sup>[En línea].

---

<sup>19</sup>WEST INSTRUMENTS DE MEXICO, S.A., MANUAL DE APLICACIÓN DEL ENCODERS, Disponible en: <https://www.amee.com.mx/clasificaciones/ENCODERS.pdf>

Figura 14. Salida de cuadratura.



Fuente: [postventa.webcindario.com](http://postventa.webcindario.com)

Debido a que el sensor seleccionado emite una señal de pulsos de flancos de subida y bajad generando 60 pulsos por cada vuelta del motor y que la máxima frecuencia del motor es de 1.67 Hz (1), lo que quiere decir que si cada pulso puede ser enviado al microcontrolador con una frecuencia de:

$$\frac{1.67 \text{ Hz}}{60 \text{ PPR}} = 27.83 \frac{\text{ms}}{\text{P}} \quad (2)$$

Donde, P = Pulsos

Se puede utilizar un sistema poco robusto, debido a que la rapidez con la que se ejecuta una línea de código es aproximadamente de 2  $\mu\text{s}$ , comparado con el resultado de la ecuación (2) también se puede decir que no hay necesidad de utilizar la función de interrupción para esta lectura debido a la baja frecuencia de los pulsos, sin embargo, es muy apropiada utilizar estas funciones para detener el conteo de un TIMER, por lo que se propone utilizar el arduino UNO, el cual es una plataforma electrónica programable que facilita procesos de adquisición de datos y que su código abierto hace de ésta una herramienta muy versátil para implementar sensores y dispositivos de comunicación de manera sencilla, teniendo la utilidad de leer entradas de diferentes fuentes para generar salidas con parámetros preestablecidos que se enfoquen en realizar alguna acción. Arduino ha sido una plataforma altamente utilizada a nivel mundial por innumerables personas gracias a la sencilla y accesible experiencia que ofrece a la hora de realizar proyectos que contengan un nivel de programación ya sea básico o avanzado ya que gracias a su flexibilidad permite dar solución a diferentes problemas. Se ejecuta en Mac, Windows y Linux y como herramienta educativa ha sido implementada por profesores y estudiantes para la

construcción de elementos científicos con un bajo presupuesto con el fin de demostrar principios físicos y químicos o para adentrarse en el mundo de la programación y la robótica.

Figura 15. Arduino Genuino UNO.



Fuente: store.arduino.cc

Arduino/Genuino Uno es una placa electrónica basada en el Atmega328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar.<sup>20</sup>[En línea].

Lo que se pretende con el procesamiento de las señales emitidas por el sensor es calcular su rapidez angular por medio del tiempo que tarda en contar 60 pulsos y utilizando un TIMER, determinar el tiempo con mayor precisión.

### 3.2.3. Circuitos eléctricos

Seleccionados el procesador y el sensor, se propone realizar la conexión siguiendo los lineamientos de la hoja de datos de ambos dispositivos, tal como lo publica learningaboutelectronics en su blog.<sup>21</sup>[En línea].

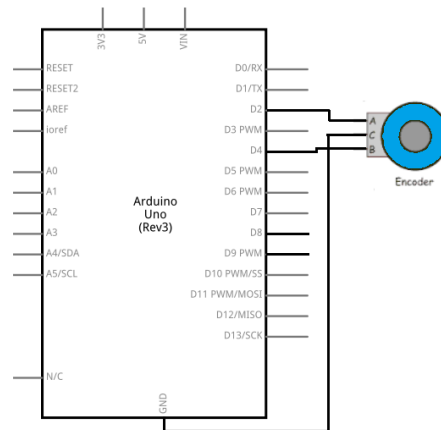
---

<sup>20</sup>ARDUINO. Arduino uno Rev 3. Documentación. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

<sup>21</sup>Learningaboutelectronics. How to Build a Rotary Encoder Circuit with an Arduino. Disponible en: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Rotary-encoder-circuit.php>



Figura 16. Circuito de adquisición y procesamiento de señales.



Fuente: learningaboutelectronics.com

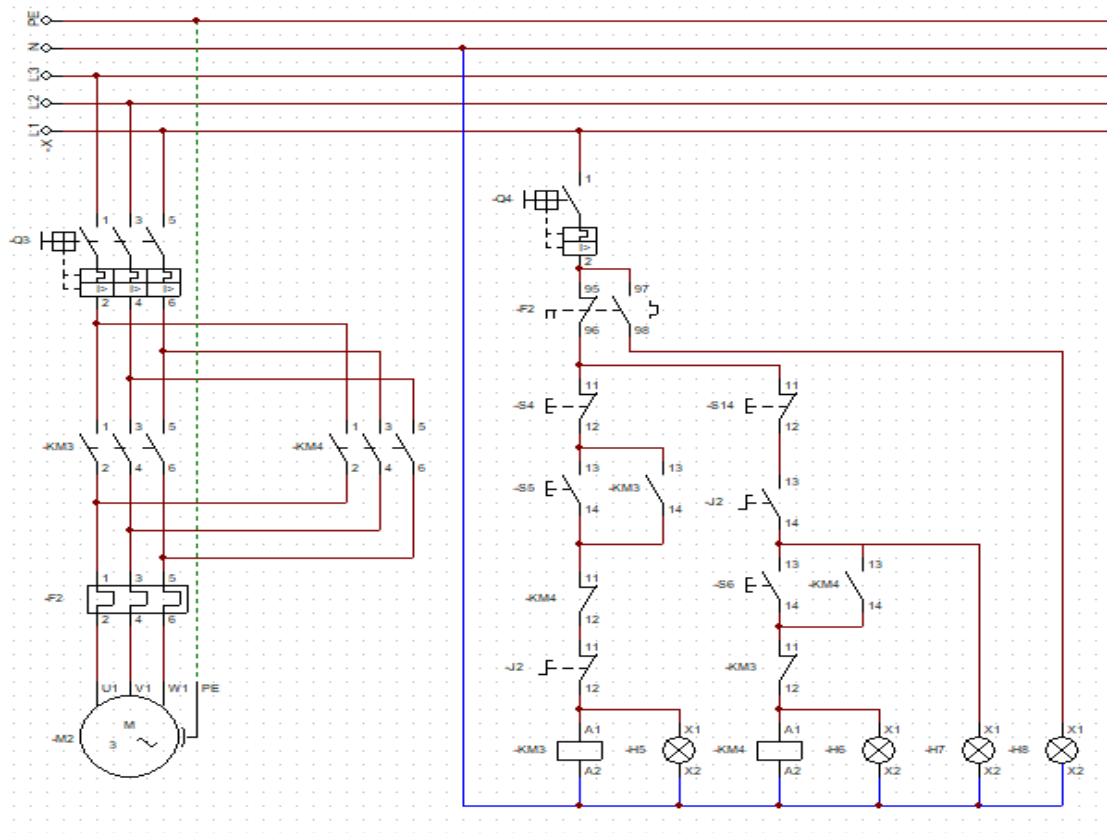
Se procede a diseñar el circuito de control y potencia que recibe las señales del microcontrolador para ejecutar las condiciones dadas en la propuesta de la solución. (ver figura 9).

De esta manera se presenta la siguiente lógica cableada ligada al motor del tornillo sinfín que transporta las plumas de pollo de la tolva hacia el cooker batch que se llamará “circuito eléctrico tornillo 1”.

El siguiente esquema eléctrico se diseñó con el programa CADE Simu versión 1.0.<sup>22</sup>[En línea].

<sup>22</sup>CADe Simu, ¿Qué es y para qué sirve CadeSimu?. Disponible en: <https://cade-simu.com/>

Figura 17. Circuito eléctrico Tornillo 1.



Fuente: Autores.

En la parte izquierda de la figura 16 se puede apreciar el circuito de potencia que comprende el motor y los demás motores en general para los circuitos planteados en este proyecto; aquí se observa la etapa de alimentación y protección que comprende el disyuntor tripolar (Q3) y los contactores de puesta en marcha (KM3) y cambio de giro (KM4) que se diferencia por cambiar dos de sus líneas eléctricas y el relé térmico (F2). Nomenclaturas que también se pueden ver en la tabla 1 de este documento.

El circuito de control empieza con el disyuntor monopolar (Q4) que se configura dependiendo de las características técnicas del motor trifásico y alimentado por una de las fases en donde se conecta una salida normalmente cerrada (NC) alimentando el resto del circuito y la salida normalmente abierta (NO), a un testigo (piloto H8) que indicaría una parada por fallo del motor o del sistema eléctrico, dependiendo de las condiciones de protección de este.

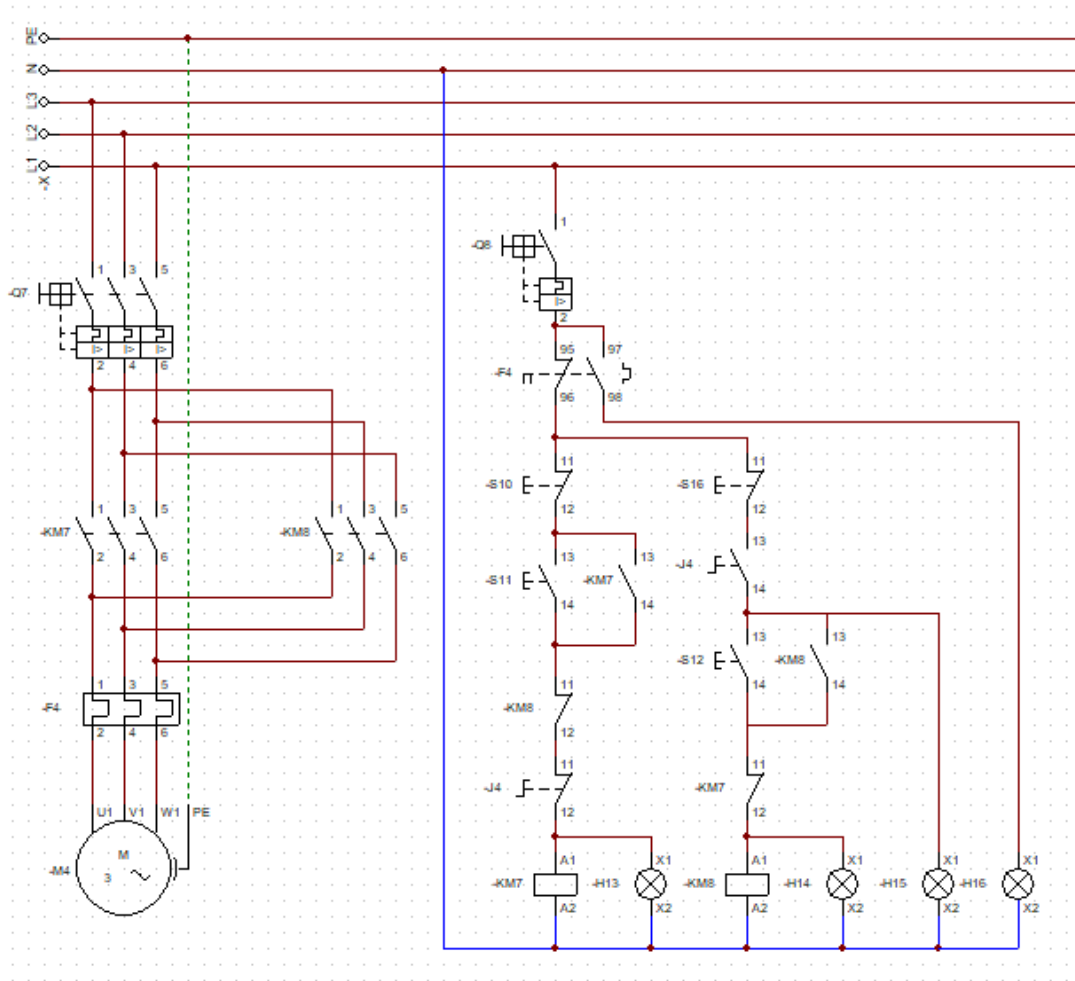
El circuito sigue con los selectores NC descritos como S4 NC y S14 NC, donde el primero permite el paso de la corriente para el circuito de puesta en marcha en el sentido normal y el segundo lo hace para el circuito de cambio de giro,

siguiendo con el primero de estos circuitos, se conecta un pulsador S5 que activa el motor el tornillo sinfín, al energizar el solenoide KM3 asociado a los contactores nombrados de la misma manera, inmediatamente se enciende un piloto H5 que indica al operario que el sistema está en marcha. En paralelo a este pulsador de arranque se conecta un contactor KM3 NO para auto enclavar la acción, mientras que se conecta un contactor KM4 NC que abre el circuito cuando el cambio de giro es activado por medio de su solenoide y, por último, se conecta en serie un contactor del relé J2 NC que es la que proviene del Arduino al detectar la disminución de la rapidez angular.

Para el segundo circuito “cambio de giro” que está en serie con el pulsador S14 NC, se conecta un contactor del relé J2 NO que, siendo accionado, activa un piloto H7 indicando que se está produciendo un atasco por sedimentación, al mismo tiempo desenergiza el circuito anterior al abrirse por medio del J2 NC, aquí el sistema se queda en espera (detenido) hasta que el operario decida cambiar el sentido del movimiento del sinfín accionando el pulsador S6 NO, energizando así al solenoide KM4 que activa los contactores del circuito de potencia KM4 NO y un piloto H6 que determina la puesta en marcha en sentido contrario. Al igual que el circuito de marcha normal, este cuenta con contactor KM4 NO en paralelo al pulsador de cambio de giro con el fin de auto enclavar la acción.

A continuación, se presenta el circuito eléctrico del tornillo sinfín que transporta la harina ya hidrolizada del cooker batch al tamiz y se propone el mismo sistema debido a que no se descarta la posibilidad de que se generen atascos de la misma índole en tal trayecto.

Figura 18. Circuito eléctrico Tornillo 2.

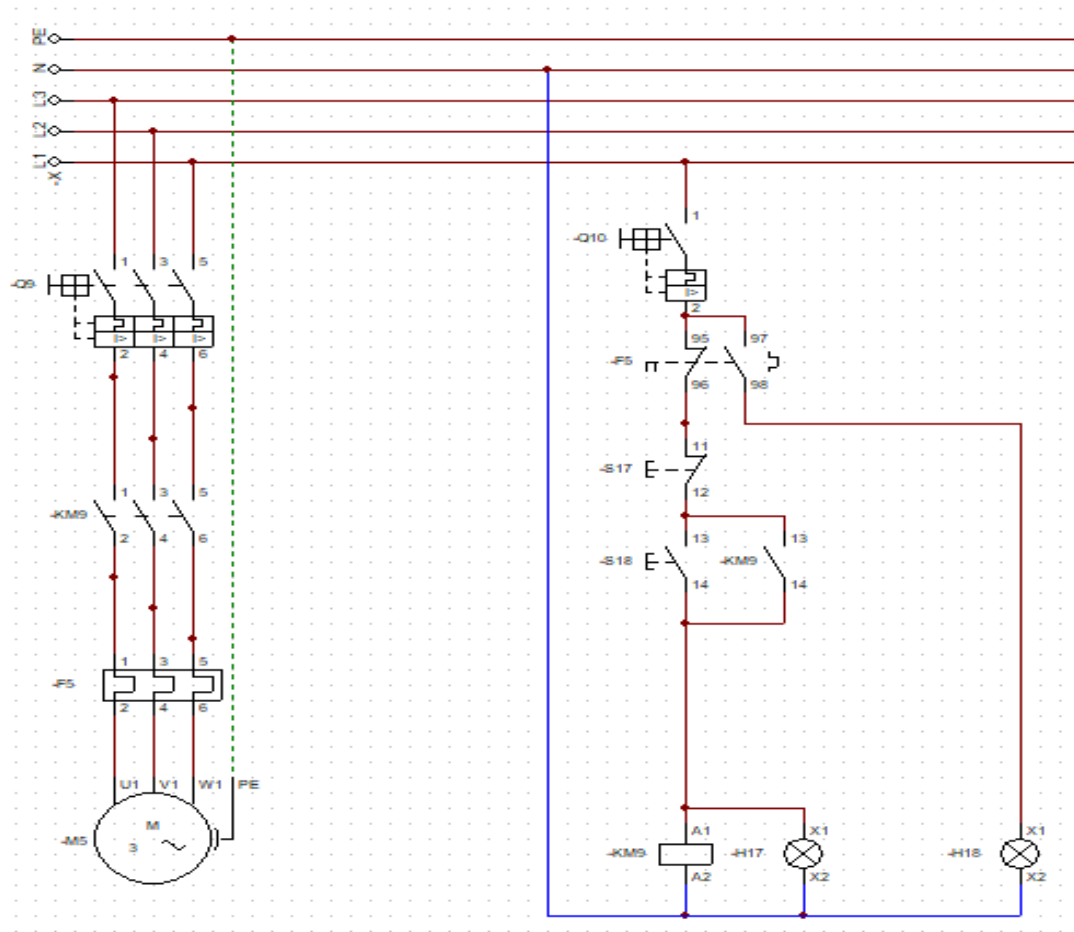


Fuente: Autores.

Este circuito es exactamente igual al anterior (Figura 16) diferenciándose solo en la nomenclatura (Tabla 1).

También se procede a realizar el mismo planteamiento para la tolva y el cooker batch que cuentan con un tornillo sinfín en su interior y se presenta un esquema eléctrico del circuito ligado al tamiz que aunque no se ve afectado con el cambio en los circuitos anteriores, hace parte del proceso.

Figura 19. Circuito eléctrico Tamiz.



Fuente: Autores.

Por último, en este apartado, se muestra la tabla de tags o nomenclatura, asociada a los circuitos descritos con anterioridad.

Tabla 1. Tags circuitos eléctricos.

NOMBRE EQUIPO PLANO	DESCRIPCIÓN
S1	Stop tolva
S2	Start tolva
S3	Cambio de giro tolva
S4	Stop tornillo 1
S5	Start tornillo 1
S6	Cambio de giro tornillo 1
S7	Stop cooker batch

S8	Start cooker batch
S9	Cambio de giro cooker batch
S10	Stop tornillo 2
S11	Start tornillo 2
S12	Cambio de giro tornillo 2
S13	Paro de cambio de giro tolva
S14	Paro de cambio de giro tornillo 1
S15	Paro de cambio de giro cooker
S16	Paro de cambio de giro tornillo 2
S17	Stop tamiz
S18	Start tamiz
F1	Relé térmico tolva
F2	Relé térmico tornillo 1
F3	Relé térmico cooker batch
F4	Relé térmico tornillo 2
F5	Relé térmico tamiz
Q1	Disyuntor tripolar tolva
Q2	Disyuntor monopolar tolva
Q3	Disyuntor tripolar tornillo 1
Q4	Disyuntor monopolar tornillo1
Q5	Disyuntor tripolar cooker batch
Q6	Disyuntor monopolar cooker batch
Q7	Disyuntor tripolar tornillo 2
Q8	Disyuntor monopolar tornillo 2
Q9	Disyuntor tripolar tamiz
Q10	Disyuntor monopolar tamiz
KM1	Contactador arranque tolva
KM2	Contactador cambio de giro tolva
KM3	Contactador arranque tornillo 1
KM4	Contactador cambio de giro tornillo1
KM5	Contactador arranque cooker batch
KM6	Contactador cambio de giro cooker batch
KM7	Contactador arranque tornillo 2
KM8	Contactador cambio de giro tornillo2
KM9	Contactador arranque tamiz
M1	Motor tolva
M2	Motor tornillo 1
M3	Motor cooker batch
M4	Motor tornillo 2
M5	Motor tamiz
J1	Señal de relé 1

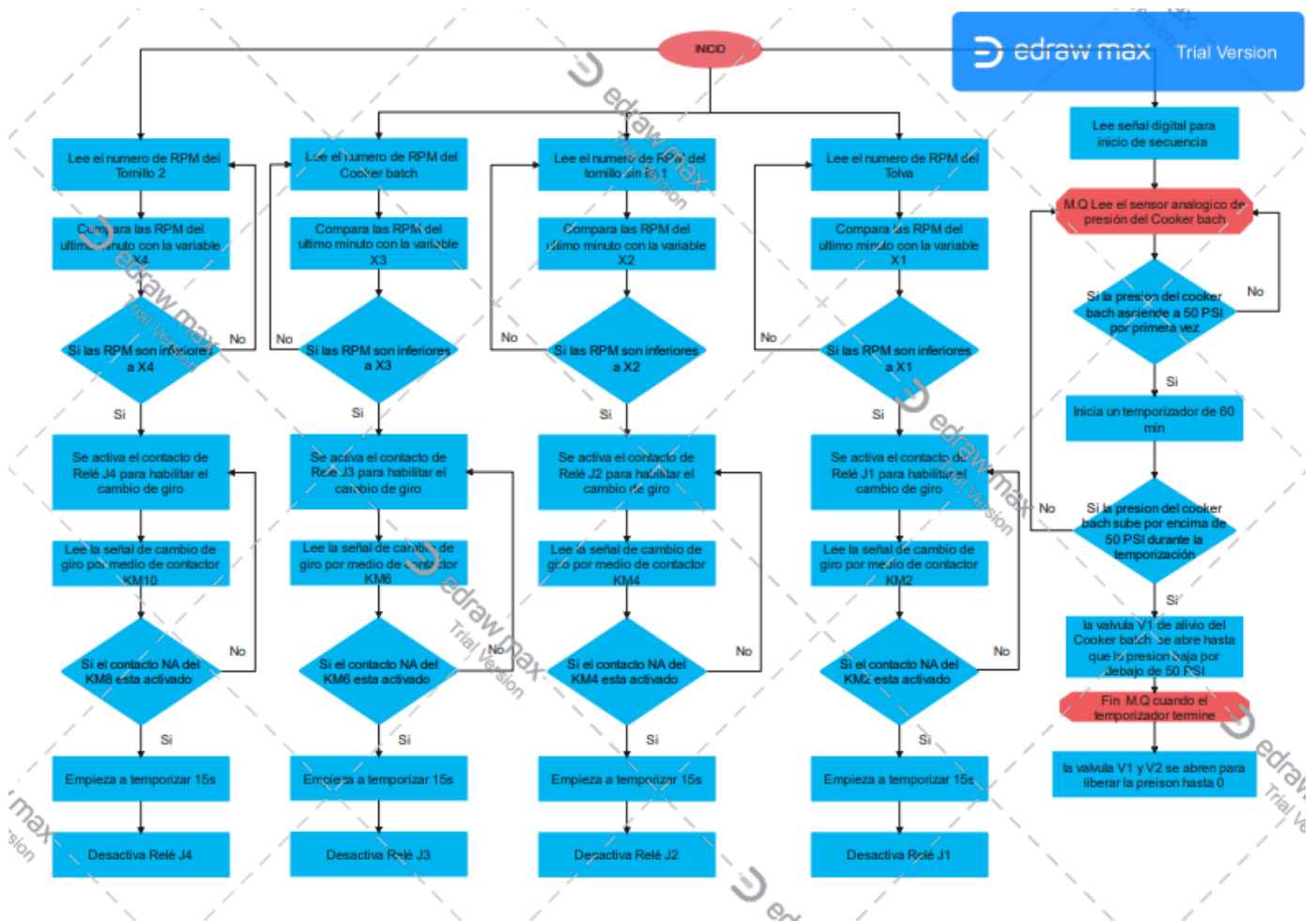
J2	Señal de relé 2
J3	Señal de relé 3
J4	Señal de relé 4
H1	Piloto de arranque tolva
H2	Piloto de cambio de giro tolva
H3	Piloto de señal de relé tolva
H4	Piloto relé térmico tolva
H5	Piloto de arranque tornillo 1
H6	Piloto de cambio de giro tornillo 1
H7	Piloto de señal de relé tornillo1
H8	Piloto relé térmico tornillo 1
H9	Piloto de arranque cooker batch
H10	Piloto de cambio de giro cooker batch
H11	Piloto de señal de relé cooker batch
H12	Piloto relé térmico cooker batch
H13	Piloto de arranque tornillo 2
H14	Piloto de cambio de giro tornillo 2
H15	Piloto de señal de relé tornillo 2
H16	Piloto relé térmico tornillo 2
H17	Piloto de arranque tamiz
H18	Piloto relé térmico tamiz

Fuente: Autores.

### 3.3. Diseño en software

Para el diseño del algoritmo se propone un diagrama en bloques DFD, (Ver figura 19), que permita dar una estructura base del código de programación al momento de desarrollar este diseño. Este diagrama se diseñó con el programa Wondershare Edraw Max.<sup>23</sup>[En línea].

Figura 20. Algoritmo en DFD de la lectura y procesamiento de las señales.



Fuente: Autores.

<sup>23</sup>Edrawsoft inc. By Wondershare. Disponible en: [https://www.edrawsoft.com/ad/edraw-max.html?gclid=Cj0KCQIA-rj9BRCAARIsANB\\_4ADx8tOqIsgJU7rLort2LGfCcUW1girwNKe9MXvIR3CUK8iEaOqrmUaAu8OEALw\\_wcB](https://www.edrawsoft.com/ad/edraw-max.html?gclid=Cj0KCQIA-rj9BRCAARIsANB_4ADx8tOqIsgJU7rLort2LGfCcUW1girwNKe9MXvIR3CUK8iEaOqrmUaAu8OEALw_wcB)



Así como se propuso con los circuitos eléctricos, en este algoritmo se muestran los programas con las mismas características para los sensores que se instalarán (en la etapa de desarrollo) en los motores ligados a los transportadores sinfín que son: circuito de sinfín 1, circuito de sinfín 2, circuito tolva y circuito cooker batch.

### **3.3.1. Lectura y procesamiento**

El algoritmo empieza con la lectura de las revoluciones para los diferentes motores; aquí se comprende que se debe realizar el muestreo-conteo de los pulsos suministrado por el sensor encoder y cuando llegue al número 60, se entenderá que habrá completa una revolución, por lo que, adicional a este se debe utilizar contadores tipo TIMER que se interrumpan cuando esto suceda, así se extrae el tiempo en ms que entrega tal función y se procede a realizar el cálculo de rapidez angular al tener los datos de tiempo por vuelta.

### **3.3.2. Comparación de lectura**

Al tener el dato de la rapidez angular del motor, se realiza la comparación con una variable que se llamará " $X_n$ " la cual define el valor mínimo de revoluciones en el intervalo de tiempo definido para calcular el muestro de la rapidez, el cual puede ser entre (0.5 - 1)s debido a que no se requiere altas velocidades de procesamiento para esta aplicación. Realizada la comparación se toma la decisión de enviar una señal al relé " $J_n$ " que habilita el cambio de giro, en caso de que la lectura sea menor a  $X_n$  y en caso contrario el programa sigue realizando su ciclo de lectura-procesamiento-comparación.

### **3.3.3. Seguimiento y monitoreo del atasco**

Adicional a la función principal del algoritmo se plantea el seguimiento del proceso de cambio de giro al leer la señal de los contactores NO que serían accionados en caso de que el operario presione el pulsador definido para el cambio de giro, cuando suceda, el algoritmo activa un conteo regresivo de 15 s para desactivar la señal que fue enviada con anterioridad llamada  $J_n$ , este tiempo es susceptible de cambio conforme se desarrolle el proyecto y se plantea de esta

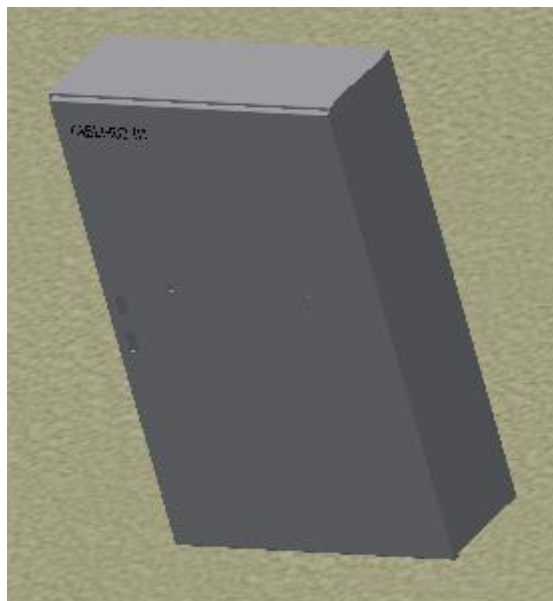
magnitud porque es un tiempo acorde para que el operario identifique el foco del atasco mientras el sinfín retrocede, es decir, que pasado este tiempo el motor se detiene y solo se puede dar marcha normal al volver a arrancar. Mientras el operario no decida cambiar de giro, el algoritmo se mantendrá leyendo tal señal hasta que este sea accionado.

### 3.4. Diseño mecánico

Para efectos de este proyecto se hace necesario diseñar una carcasa para el circuito electrónico que estará incluido en un tablero eléctrico donde se organizan y conectan los diferentes elementos del circuito de control y potencia; así pues que se plantea diseñar una caja con dimensiones (10x10x3) cm, basados en las medidas del Arduino UNO y dando un espacio extra para los componentes electrónicos que se vayan añadiendo durante el proceso de desarrollo.

El siguiente modelado fue diseñado con el programa AutoCAD Inventor 2017 con licencia estudiantil.<sup>24</sup>[En línea].

Figura 21. Carcasa circuito electrónico.



Fuente: Autores.

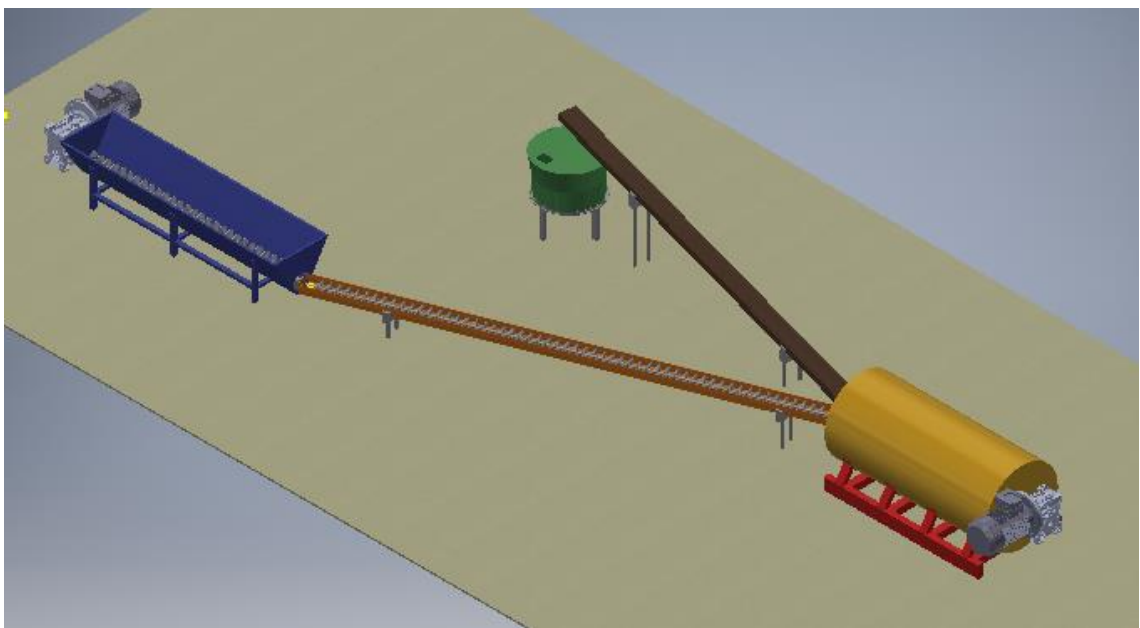
---

<sup>24</sup>AUTODESK, AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK, Autodesk inventor view 2017, 20 de September del 2018. Disponible en: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/downloads/caas/downloads/downloads/ESP/content/autodesk-inventor-view-2017.html>

En este punto se aclara que se propone utilizar dos circuitos de estos ubicados estratégicamente para evitar pérdidas de las señales emitidas por los sensores sabiendo que estos tienen un rango máximo de 2 metros para que su salida en tensión no se vea afectada.

De tal manera que para dar un vistazo más detallado de la planta de los posibles puntos en los que se debe instalar el circuito electrónico, se muestra la siguiente ilustración modelada en AutoCAD Inventor 2017.

Figura 22. Planta de hidrólisis modelada.



Fuente: Autores.

Este es un modelo general de lo que se ha explicado en este documento sobre los componentes de una planta de hidrólisis de plumas de pollo, en donde se puede apreciar la conexión entre cada etapa y la importancia del transportador tornillo sinfín durante todo el proceso. Algunos elementos de este modelo son modelos prediseñados que se comparten en Grabcad.com; el motorreductor trifásico a 220 <sup>25</sup>[En línea] y el tablero eléctrico <sup>26</sup>[En línea].

---

<sup>25</sup> Grabcad.com. Motorreductor. Disponible en: <https://grabcad.com/library/gearbox-with-motor-1>.

<sup>26</sup>Grabcad.com. tablero eléctrico <https://grabcad.com/library/tablero-industrial-1>.

#### **4. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

A través del estudio y las simulaciones realizadas se determinó que este diseño optimiza el proceso de transporte de la planta de manera significativa, de tal manera que en primer instancia se ofrece asistencia pertinente, segura y controlada para el evento de un atasco en el proceso de transporte y dosificación de plumas de pollo, logrando de esta manera un mejoramiento sustancial en los tiempos de producción y en la conservación de los elementos afectados (especialmente en el motor y el transportador sinfín), por lo que al intervenir en un atasco por medio del circuito planteado se evita el utilizar esfuerzos y herramientas netamente mecánicas que incurran en el desgaste del tornillo sinfín, además que si el motor se detiene frecuentemente aumenta la probabilidad de que este se deteriore o de dañe definitivamente.

El realizar un diseño de la lógica del algoritmo ligado al procesador seleccionado, ofrece al proyecto un enfoque realmente direccionado que procesa las señales emitidas por los sensores y toma las decisiones adecuadas para dar cumplimiento a la solución planteada, de tal modo que se acopla de manera eficiente al circuito eléctrico diseñado.

Por otro lado, en el modelado de la planta con medidas similares a una física se obtienen datos importantes de ensamble y disposición que añaden al diseño un factor importante para la elección de los puntos donde deben ir instalados los circuitos eléctricos, de tal manera que se logra con esto la disminución de la longitud de los cables, lo que mejora sustancialmente la calidad de la señal de los sensores y por otro lado, la optimización de los recursos a utilizar, lo que afecta positivamente al presupuesto.

Al utilizar contactores como elementos destacados en el circuito eléctrico, se asegura un acople directo con el sistema eléctrico de los motores, además que el sistema de control electrónico se sincroniza y acopla directamente con un relé agregando así mayor confiabilidad al momento de procesar y transferir las señales de un “subsistema” a otro, siendo estos asuntos de gran importancia a la hora unir dispositivos que operan con señales de diferentes características eléctricas.

#### 4.1. Presupuesto

Tabla 2. Presupuesto.

COTIZACIÓN				
SERVICIO, DISPOSITIVO O MATERIAL	VALOR /U	N	VALOR /T	DIRECCIÓN
ENCODER ÓPTICO INCREMENTAL	\$ 86.700	4	\$ 346.800	<a href="https://www.viaindustrial.com/productos.asp?nombre=Generadores%20de%20pulsos%20-%20Encoders%20incremental%20eje%20diametro%2010%20mm">https://www.viaindustrial.com/productos.asp?nombre=Generadores%20de%20pulsos%20-%20Encoders%20incremental%20eje%20diametro%2010%20mm</a>
ARDUINO UNO	\$ 27.000	2	\$ 54.000	<a href="https://www.vistronica.com/arduino/">https://www.vistronica.com/arduino/</a>
LAMINA DE ACRILICO (20x20) cm	\$ 9.642	2	\$ 19.284	<a href="https://www.cristacryl.com/productos/?gclid=Cj0KCQiA-rj9BRCAARIsANB_4AARGwtah1neGWm6mtsv33GpSt1VbTybZliK646PRv2agNAhXmVoEycAqRVEALw_wcB">https://www.cristacryl.com/productos/?gclid=Cj0KCQiA-rj9BRCAARIsANB_4AARGwtah1neGWm6mtsv33GpSt1VbTybZliK646PRv2agNAhXmVoEycAqRVEALw_wcB</a>
SERVICIO CORTADORA LASER / min	\$ 400	30	\$ 12.000	Universidad Tecnológica de Pereira - Mecánica
PILOTO LED 220 V 22mm	\$ 6.500	16	\$ 104.000	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.co">https://articulo.mercadolibre.com.co</a>
CONTACTOR TRIFASICO	\$ 417.000	8	\$ 3.336.000	<a href="https://www.dempro.co/">https://www.dempro.co/</a>
SELECTOR HARMONY 2 POSICIONES	\$ 13.100	8	\$ 104.800	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.co">https://articulo.mercadolibre.com.co</a>
PULSADOR LUMINOSO LED	\$ 22.300	8	\$ 178.400	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.co">https://articulo.mercadolibre.com.co</a>
MÓDULO RELÉ X2	\$ 8.000	2	\$ 16.000	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.co">https://articulo.mercadolibre.com.co</a>
TABLERO ELECTRICO INDUSTRIAL	\$ 219.900	3	\$ 659.700	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.co">https://articulo.mercadolibre.com.co</a>
ALAMBRE CALIBRE 14 X 1 Kg	\$ 6.400	4	\$ 25.600	<a href="https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/107346/alambre-calibre-14-galvanizado-1kg">https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/107346/alambre-calibre-14-galvanizado-1kg</a>

Fuente: Autores.

## CONCLUSIONES

Durante el proceso que se realizó al diseñar el circuito eléctrico para la mejora del proceso de transporte de plumas de pollo se utilizaron diferentes fuentes de información que aportaron significativamente a la generación de la solución propuesta; consultas que permitieron identificar las etapas y puntos clave del proceso de producción, lo que ayudó a localizar y examinar las fallas, las cuales a su vez fueron factores imprescindibles y un punto de partida sólido para lograr determinar una solución.

Al diseñar el circuito eléctrico y el algoritmo para el procesador, con las características de funcionalidad para dar solución a los problemas identificados, se determinó como guía principal a la secuencia descriptiva del proceso de hidrolizado, lo que sirvió de base para identificar y corregir los problemas que se iban encontrando en la disposición de los dispositivos eléctricos, la lógica de programación y las simulaciones, adicionalmente, al tener en cuenta las condiciones físicas de la planta, por medio del diseño asistido, se determinaron los puntos de instalación que agregaron valor al planteamiento de la solución.

Al momento de seleccionar los dispositivos que cumplieran con los requerimientos de funcionalidad del circuito diseñado, se llevó el enfoque hacia la Identificación de los elementos electromecánicos presentes en el proceso y específicamente hacia aquellos que son controlados por el circuito en cuestión, de tal manera que se logró la compatibilidad entre los elementos de la planta y los seleccionados para el circuito eléctrico.

Se concluye que este sistema en general cuenta con las características para responder y ayudar al operario a monitorear todos los trayectos de transporte de materia prima y materia hidrolizada a lo largo de la línea de producción, además que se aportaron valores agregados y especificaciones concretas a la hora desarrollar el proyecto.

## RECOMENDACIONES

Aquí se destaca que el primer planteamiento para solucionar el problema fue el de utilizar un transformador de corriente como “sensor” de la variable de intensidad que el motor estuviera consumiendo en todo momento, de tal manera que se realizara el procesamiento de las señales y se comparara con el 80% de la magnitud de intensidad con la que el disyuntor se activa; de esta manera se deduciría que al consumir mayor potencia estuviera acercándose de forma progresiva al valor en el cual se activarían las protecciones y permitiría discernir que el motor se estaría esforzando por atascos en el tornillo sinfín con alguna sedimentación de plumas de pollo, sin embargo, se evaluaron otras alternativas que podrían ser más efectivas ya que no sería un planteamiento eficiente, preciso o totalmente funcional, puesto que otros factores intrínsecos en el sistema o afectaciones podría arrojar valores de intensidad no necesariamente ligados a la reducción de revoluciones por sedimentaciones, adicional que sería un planteamiento basado en un alto consumo eléctrico de la planta y no bajo las mejores condiciones para un correcto funcionamiento, de tal manera que al final se seleccionó la idea de medir las revoluciones por medio de un sensor encoder, por lo que esta variable es menos susceptible de otros daños o eventos netamente eléctricos que pudieran ocasionar falsas alarmas o medidas erróneas, como por ejemplo, picos de voltaje en los arranques del sistema, sobrecargas o las sobreintensidades.

A la hora de desarrollar el código de programación para el procesamiento de las señales se recomienda utilizar el algoritmo planteado en el “manual de aplicación de encoders”<sup>19</sup>, en donde especifica la lógica para solucionar algunos errores de medición que surge al obtener las revoluciones de un motor con este tipo de sensores, además de que en ese documento también se dan algunas recomendaciones para la instalación del encoder en el eje rotatorio.

Para la instalación física de los circuitos en la planta, se recomienda agruparlos en pares por dos razones; la primera es que cada encoder ocupa por lo menos un contador TIMER del microcontrolador, por lo que al tener más de dos en el mismo Arduino se complicaría el algoritmo para realizar el proceso de transducción de la señal y como segundo punto, se justifica porque la distancia máxima del cable de salida a la que el sensor entrega la señal es de 2 m, de esta manera se evitan problemas de errores de medición por la caída de la tensión a causa de la distancia del cable transmisor de la señal.

Para dar solución a un atasco con las características de este proyecto, también se podría proponer un sistema más robusto (industrial), que daría una solución de automatización con menos probabilidad de fallos en su implementación, sin

embargo, con un costo mucho más elevado, es por esta razón que utiliza la lógica cableada con elementos de control básicos en la industria y junto a un sistema eléctrico muy accesible a cualquier presupuesto.

La elección del acrílico para el diseño de la carcasa del circuito electrónico se realizó porque este material tiene propiedades aislantes, tiene una alta resistencia al impacto, resistencia química y térmica, excelente dureza para esta aplicación, fácil adquisición en el mercado y se puede procesar por inyección, extrusión o impresora 3D.



## BIBLIOGRAFÍA

<sup>1</sup>BMEditores, Industria avícola tradicional vs. la era moderna de avicultura. [En línea], consulta [05 febrero 2020], disponible en: <https://bmeditores.mx/avicultura/industria-avicola-tradicional-vs-la-era-moderna-de-avicultura/>

<sup>2</sup>Maria Aguilera Díaz, Determinantes del desarrollo en la avicultura en Colombia: instituciones, organizaciones y tecnología. [En línea], consulta [Diciembre 2014], disponible en: [https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/dtser\\_214.pdf](https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_214.pdf).

<sup>3</sup>Revista Politécnica [En línea].Universidad Libre de Colombia, [ 19 julio 2019]. Semestral. Disponible en Internet: <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1552/1351>. ISSN: 2256-5353

<sup>4</sup>Fenavi, Consumo histórico de huevo y pollo en Colombia. [En línea], consulta [09 enero 2018], disponible en: <https://avicultura.info/fenavi-consumo-historico-huevo-pollo-colombia/#:~:text=El%20encasetamiento%20de%20pollo%20de,%25%3B%20r%20especto%20al%20a%C3%B1o%20anterior>

<sup>5</sup>Gina A. Quintero Curvelo, William A. Huertas Díaz, Eduar Ortega David, Procesamiento de plumas de pollo para la obtención de queratina. [En línea], consulta [10 diciembre 2017], disponible en: <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/767/1176> <https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/572003>

<sup>6</sup>Morcillo, Jesús (1989). *Temas básicos de química* (2ª edición). Alhambra Universidad. p. 262-264. ISBN 9788420507828. Disponible en : <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/pluma.php>

<sup>7</sup>Cecilia Bembibre (marzo. 2013). Definición ABC. Disponible en: <https://dle.rae.es/queratina>

<sup>8</sup>Real academia española. Reddy & Santosh, 2016. (En línea). Disponible en: <https://dle.rae.es/queratina>

<sup>9</sup>YouTube. Ing. Juan Carlos Hominal. FIMACO. 11 de abril del 2013. Hidrolizado de plumas con sistema continuo Fimaco. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=hRKWy10uBWA&t=1s>

<sup>10</sup>Revista digital INESEM. Ing. Rogelio Delgado. 12 de feb. Del 2015. Publicación en la web. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/#:~:text=Los%20motores%20trif%C3%A1sicos%20son%20motores,sistema%20trif%C3%A1sico%20de%20corriente%20alterna.>

<sup>11</sup>Tercesa S.L. Sertec Transmisiones. Qué es un motorreductor. @paradecreativa. Octubre 28 del 2016. Disponible en la web. <https://tercesa.com/noticias/que-es-un-motorreductor/>

<sup>12</sup>Oriol Guerra, José M. "Máquinas de transporte continuo" Tomo I, (Ciudad Habana): Editorial Pueblo y Educación, 1988.

<sup>13</sup>Maquinaria e industria. Adrián Rodríguez Núñez. ¿Qué son las tolvas industriales?. 10 octubre, 2017. En la web: <https://maquinariaeindustria.es/que-son-las-tolvas-industriales/#:~:text=Entendemos%20por%20tolva%20como%20aquel,principal%20al%20que%20est%C3%A9%20destinado.>

<sup>14</sup>Cocinador, cooker o digestores en la industria del rendering. ¿Qué son? Ing. Alejandro karcz. 25/06/2019. Publicado en la web. <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/cocinador-cooker-digestores-industria-t43852.htm>

<sup>15</sup>Labopoliz.com. Tamizado Industrial. Ing. Marco Noguera V. 16 de mayo, 2014. Blog. disponible en: <http://tamizadoperacionesunitarias.blogspot.com/2014/05/definicion.html>

<sup>16</sup>Demaquinasyherramientas.com. Ing. Nuria. ¿Qué es un Encoder, cuáles son sus tipos y para qué sirven?. 22 de junio del 2018. Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/encoder-tipos>

<sup>17</sup>Automatizmoindustrial.com. FORMACIÓN PARA LA INDUSTRIA 4.0. Codificadores ópticos Rotativos. José Ramón Vaello Sancho. <https://automatizmoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-4-adquisicion-de-datos/codificadores-opticos-rotativos/#:~:text=Un%20codificador%20%C3%B3ptico%20rotativo%2C%20es,de%20zonas%20opacas%20y%20transparentes.>

<sup>18</sup>Hoja de datos Generador de pulsos Encoder incremental. Autonics. Disponible en: [https://www.viaindustrial.com/catalogos\\_pdf/generadores-de-pulsos-encoders-incremental-eje-diametro-10-mm-ena602t24-autonics-catalogo-ingles.pdf](https://www.viaindustrial.com/catalogos_pdf/generadores-de-pulsos-encoders-incremental-eje-diametro-10-mm-ena602t24-autonics-catalogo-ingles.pdf)

<sup>19</sup> WEST INSTRUMENTS DE MEXICO, S.A., MANUAL DE APLICACIÓN DEL ENCODERS, Disponible en: <https://www.acomee.com.mx/clasificaciones/ENCODERS.pdf>

<sup>20</sup> ARDUINO. Arduino uno Rev 3. Documentación. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

<sup>21</sup> Learningaboutelectronics. How to Build a Rotary Encoder Circuit with an Arduino. Disponible en: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Rotary-encoder-circuit.php>

<sup>22</sup> CAdE Simu, ¿Qué es y para qué sirve CadeSimu?. Disponible en: <https://cade-simu.com/>

<sup>23</sup> Edrawsoft inc. By Wondershare. Disponible en: [https://www.edrawsoft.com/ad/edraw-max.html?gclid=Cj0KCQiA-rj9BRCAARIsANB\\_4ADx8tOqlsqJU7rLort2LGfCcUW1girwNKe9MXvIR3CUK8jEaOqrmUaAu8OEALw\\_wcB](https://www.edrawsoft.com/ad/edraw-max.html?gclid=Cj0KCQiA-rj9BRCAARIsANB_4ADx8tOqlsqJU7rLort2LGfCcUW1girwNKe9MXvIR3CUK8jEaOqrmUaAu8OEALw_wcB)

<sup>24</sup> AUTODESK, AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK, Autodesk inventor view 2017, 20 de September del 2018. Disponible en: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/downloads/caas/download/s/downloads/ESP/content/autodesk-inventor-view-2017.html>

<sup>25</sup> Grabcad.com. Motorreductor. Disponible en: <https://grabcad.com/library/gearbox-with-motor-1>.

<sup>26</sup> Grabcad.com. tablero eléctrico. Disponible en: <https://grabcad.com/library/tablero-industrial-1>.